

矿用挖掘机远程操控技术的研究

刘跃龙，耿飞，王建辉，张凤玲

(包钢(集团)公司白云鄂博铁矿 内蒙古 包头 014080)

摘要：文章描述当今露天矿山中大型设备的操作人员所处环境复杂多变，大型矿用机械设备正在作业时需要在1-2名操作员对设备进行操控，设备现场作业时，工作环境较差，操作人员容易患上呼吸道等各方面职业疾病。矿山工作环境差，存在招工困难等问题。为此提出了矿用挖掘机远程操控技术的研发及应用，遵循可靠性、可扩展性、高效性、易用性、数据安全等多维度原则，确保远程遥控驾驶系统安全可靠，实用性强，既保障作业安全，又保障作业效率。保障员工安全，使操作员脱离驾驶室，减少操作员往返工作现场次数，降低运营成本，改善操作员工作环境，降低人员流动率，操作员集中管理，降低沟通成本易于按计划施工。挖掘机开发自适应挖掘、起重臂软着陆、倾角控制等智能化安全运行功能。

关键词：远程操控；5G智能；露天矿山智能；电铲远程

Research on Remote Control Technology of Mining Excavator

Liu Yuelong, Geng Fei, Wang Jianhui, Zhang Fengling

(Baogang (Group) Company Baiyun Ebo Iron Mine, Baotou City, Inner Mongolia Autonomous Region 014080)

Abstract: The article describes the complex and volatile environment in which operators of large equipment in open pit mines operate. Large mining machinery and equipment require 1-2 operators to control the equipment while they are operating. When the equipment is operating on site, the working environment is poor, and operators are prone to various occupational diseases such as upper respiratory tract. The working environment of the mine is poor, and there are problems such as difficulty in recruiting workers. Therefore, the research and application of remote control technology for mining excavators is proposed, which follows multi-dimensional principles such as reliability, scalability, efficiency, ease of use, and data security to ensure that the remote control driving system is safe, reliable, and highly practical, ensuring both operational safety and operational efficiency. Ensure employee safety, enable operators to leave the cab, reduce the number of times operators travel to and from the work site, reduce operating costs, improve the operator work environment, reduce personnel turnover, centralize operator management, reduce communication costs, and facilitate construction on schedule. Excavators develop intelligent and safe operation functions such as adaptive excavation, boom soft landing, and inclination control.

Keywords: Remote control; 5G intelligence; Open pit mine intelligence; Shovel Remote

1 概述

作者简介：刘跃龙，男，助理工程师，从事矿山设备运行使用管理及自动化技术研究领域；中国装备维修与改造技术协会会员、电话：18747234570、Email:993661147@qq.com。

Author Biography: Liu Yuelong, male, assistant engineer, engaged in the field of mining equipment operation, usage management, and automation technology research; Member of China Equipment Maintenance and Transformation Technology Association, Tel: 18747234570, Email: 993661147@qq.com。

我国是世界矿业大国，矿产资源总产量占全球总产量的 31%，位居世界第一位。同时，在我国 4000 多家露天矿里，有将近 300 万矿工，长期忍受着高温高湿、粉尘弥漫、有素有害气体、噪声振动、爆破安全等问题。矿山小、散、乱的问题尚存，开采作业过程中，如爆破、掘进等过程，不论是对驾驶员还是对工程机械设备，都存在着巨大的安全隐患，容易造成人员伤亡、财产损失。

近年来，随着国家各项政策号召，露天矿山对生产设备的无人化、智能化要求越来越高。包含电铲、挖掘机在内的设备，作为露天矿常用的挖装设备，各露天矿山对远程操控技术应用的需求愈发迫切。

1.1 现状

电铲、挖掘机设备均在露天条件下使用，用于进行剥离、采掘等工作，工作现场温差大、高粉尘，设备冲击负荷、震动、颠簸强烈，因此对于设备端的远程操作平台硬件模块要求高。

同时，该类设备体积大，操作难度大，远程操作时需要多角度观察工作面，所以要求摄像头视角能够多方位，多视角观察工作面。但简单的多视角呈现工作画面，会干扰操作手注意力，无法高效作业。因此在操作端，需要在视频画面角度齐全的基础上，还要突出重点、传输流畅，避免画面凌乱、干扰操作手注意力。例如，电铲最大爬坡角度一般不超过 15°，实际装载作业时不能超过 4°，要求远程无人驾驶电铲拥有精确灵敏的倾角感知能力，以及现场声音反馈。

基于以上要求以及结合当前白云铁矿采场作业实际情况，希望能够通过高可靠性的硬件产品以及 AI 算法，在设备端实现硬件性能稳定；机器人控制系统保障图像处理功能和自动化作业的可扩展性；超低延时系统保障系统延时较大，保障作业可操作性；在远程操作端主视频实现分辨率更高、视角更广、无畸变的全景视频，达到远程操作人员可以高效作业的效果。

1.2 必要性

矿山事故隐患和安全风险交织叠加，安全事故不仅会造成停工、赔偿等经济损失。《安全生产“十三五”规划》中明确提出，将矿山、矿山设备、高尘等高危行业列为安全生产重点范围，并明确提出“党政同责、一岗双责、齐抓共管、失职追责”的安全监督管理责任。

另外，矿山施工机械操作技术复杂，学习成本较高，但恶劣偏远的环境难以留住年轻从业者，有经验的工人供不应求，造成了矿山企业人力成本高企。

《“十四五”国家安全生产规划》中提出了煤矿和非煤矿山建设要朝机械化、智能化、无人化方面迈进的要求。推广应用工业机器人、智能装备等，减少危险岗位人员数量和人员操作是解决以上问题的必由之路。

近年来，随着国家各项政策号召，露天矿山对生产设备的无人化、智能化要求越来越高。电铲及钻机作为露天矿常用的钻孔及挖装设备，各露天矿山对远程无人驾驶电铲及钻机的需求愈发迫切。

电铲及钻机在露天条件下使用，用于进行钻孔、剥离或采掘等工作，工作现场温差大、高粉尘，设备冲击负荷、震动、颠簸强烈，因此对于钻机及电铲端的远程操作平台硬件模块要求高。

推广智能化建设，为解决一线人员短缺提供有利条件。智能化是发展的必由之路，是提高矿企核心竞争力、实现可持续发展的必由选择，从思想意识、基础设施、地理位置和规模等几方面都具有进行智能化升级改造的优势。

2 远程操控系统改造方案

电铲需要通过加装智控中心、各类传感器、通信模块等，使之具备远程遥控功能，并能够在此基础上，将机械臂的自动控制技术、自动驾驶的人工智能感知技术融合到电铲设备的远程遥控作业中，从而提高生产效率，保障生产安全。设备改装部位如下，方案需不破坏设备本体结构，改装周期短；改装后既可以让设备具有遥控功能，又不影响设备上机的正常操作。



2.1 设备端

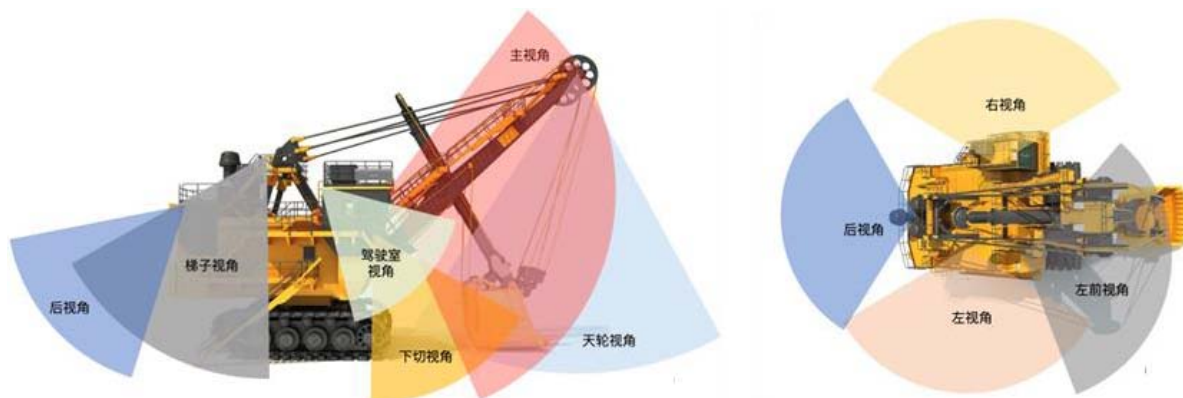
2.1.1 远程操作系统智能控制中心

远程操作系统智能控制中心作为智能设备的“大脑”，需包括设备端通信系统、上位机、下位机、音视频采集和传输系统、感知系统等，可完成感知、通信、本地计算等多项功能。主控机箱内所有芯片均需选用工业级芯片，稳定性高，其中核心微处理器选用高性能处理器，满足实时控制要求。

控制器通讯接口需选用成熟的串口方案，集成多个串口，其中连接倾角传感器的串口可使用 MODBUS 协议完成交互，智能控制系统交互串口使用用户指定的协议完成交互，通过程序设计，实现了遥控的启动/停止发动机、行车、铲斗（提升下放、打开关闭）、斗杆、回转、照明灯、喇叭等线控化，均由控制器通过 CAN 总线传输；需设置驾驶模式开关，实现人工驾驶模式、遥控驾驶模式的一键切换；系统能够在硬件层面，保障实现运动控制、数据采集等功能。

2.1.2 车辆及环境多维感知系统

摄像头支架及防护套需具备以下特性：可以满足摄像头全天候环境设计，有防雨、防潮、防尘、防腐蚀功能，具备一定的防冰覆性能；摄像头支架采取良好的防振结构，在设备工作环境中能够避免振动对图像质量产生的影响；摄像头具有良好的抗工频电磁干扰性能和良好的接地安装措施，在设备环境中不出现雪花点、黑纹、卡顿等视频干扰现象。



2.1.3 机械臂姿态监测感知系统

需要包含声音传感器，可将现场声音实时传输至远程端，通过音视频同传及超低延时技术，实现远程操控对画面和当前声音的实时感知，可以准确帮助远程操控人员感知现场震动、鸣笛等多种工作需要。

需要包含陀螺仪传感器，可将车体倾斜角度实时采集，精度可达 $\pm 0.1^\circ$ 。可以实现远程操控人员精准感知电铲的倾斜状态，并通过智能化功能进行合理预警。

另需根据实际作业需求添加的传感器包含但不限于 IMU、激光雷达、超声波雷达等。

2.2 远程操作端

2.2.1 远程操作驾驶舱

电铲端得到的图像及各类传感器数据，需通过 5G 专网传输到远程操作端实现显示。远程操控台需要采用仿真驾驶室的结构，操作方式与实际在电铲中操作类似，操作手柄上的智能化按键根据操作驾驶员的习惯安装。通过收集现场信息进行声音播放。



2.3 基础远程操控软件配置

2.3.1 超低延时系统

需配置 ULLS(超低延时系统)，能够在信号传输中保持稳定和超低延时，可与 5G/WiFi 等不同网络兼容。5G 公网网络条件下，系统全链路延时小于 180ms；5G 专网网络条件下，系统全链路延时小于 140ms；工业 WiFi 网络条件下，系统全链路延时小于 130ms。

2.3.2 网络传输加密系统

需配置遥控网络加密传输系统，并且通过国家(或行业)认可的正规第三方测试中心相关信息安全测试，获得第三方安全测试认证报告，避免远程遥控设备被劫持操控，引发电铲等设备失控，危及人员及财产安全。针对“身份认证”采取“非对称加密”，通过系统数字证书进行身份验证。针对“数据传输”采取“对称加密”，通过对称密钥对通信数据进行保护。

2.3.3 作业动作控制系统

远程遥控智能化作业系统需支持人工驾驶与遥控驾驶两种模式，通过程序设计，实现遥控行车、铲斗、动臂、斗杆、回转、照明灯、外置喇叭等信号控制，不改变驾驶员操作驾驶习惯，使驾驶员很快就能上手使用。

作业模式下：左侧手柄-控制推压、回拉、喇叭和开底。手柄向前推压、手柄向后回拉、手柄向左鸣笛、手柄向右开底。右侧手柄-控制提升、下放和回转。手柄向前提升、手柄向后下放、手柄向左左回转、手柄向左右回转。

行走模式下：左侧手柄-控制左履带前进、后退、喇叭和开底。手柄向前推前进、手柄向后退、手柄向左鸣笛、手柄向右开底。右侧手柄-控制右履带前进、后退、下放和回转。手柄向前前进、手柄向后退、手柄向左左回转、手柄向左右回转。

2.3.4 作业辅助系统

远程操作系统改造需要充分考虑电铲实际使用当中会遇到的辅助功能指令，为让操作人员更快适应远程操控的方式，需将一部分功能按钮以物理形态设计到远程操控台中。

2.3.5 远程操控台声画显示系统

需要具备全方位界面交互系统，确保操作者感知现场信息，提升作业效率，提升安全保障。远程操作中心可显示挖掘机整体的倾斜情况；动作指令，如手柄、踏板等的动作方向等；执行远程制动或现场遥控制动后，远程操作中心显示“制动中”；远程操作中心可显示当前网络连接、传输情况、延迟时间与故障报警等信息。

通过人机交互设计，降低对驾驶员的干扰实现更高效的操控界面需要依据驾驶员习惯，把画面分为三类：

“重点关注” -工作装置及作业面等

“辅助关注” -设备倾斜角度仪表，周边障碍物等

“有情况时关注” -突然出现的人员，设备故障等

各个画面可以根据驾驶员工况需要，用手柄控制切换显示，远程端回传的数据，采用数图同传，对音视频信息进行统一编码，保证音视频同步回传，避免造成远程端屏幕显示音画不同步的现象。

2.4 智能化功能配置

2.4.1 远程启动/熄火功能

为保障管理及作业的便利性，远程启动功能需要具备电铲的远程启动及远程断电功能，实现人员无需到驾驶舱内启动设备。远程操作人员可以通过远程驾驶舱的钥匙旋钮，远程启动电铲进行启动或断电。

出于安全性考虑，近场急停装置需优先级为最高，即远程启动之后，仍需要安全员手持急停遥控器，远程解除急停锁定（无遮挡<1km），方可进行正常操作。

2.4.2 人员监测功能

为保障远程操控人员可以及时看到周边出现的行人，需要具备人员监测功能可以实现电铲的远程操控过程中，通过摄像头画面和人工智能算法，自动捕捉周边行人，并以弹窗形式预警提醒远程操作人员。

人员监测功能需要实现：保障作业效率。不影响远程操作人员的主视角画面占比。无多余屏幕，不会因为凌乱画面堆叠，导致远程操作人员注意力分散或眩晕。不会多占用网络带宽。无行人时不警示，只在有行人经过时，通过弹窗提醒。警示更快更安全。以每秒钟超过 10 次的频率（侦测频率<100 ms）实时捕捉周边行人，侦测后红色框标记行人，无需远程操作人员自己在画面中自行寻找，避免耽误制动时机。



2.4.3 姿态监测功能

针对电铲远程操控时，司机需要观测机体与履带的夹角，以及规避铲斗与履带在作业当中发生碰撞的可能，需要配置姿态监测功能，该功能包含：机体履带角度感知；防铲斗履带碰撞感知；机体倾角感知。

为实时反馈设备倾斜状况，有效提示驾驶员目前电铲的实际倾斜状态，规避左右侧翻、前后倾覆的危险。姿态监测功能需要实时展现电铲倾斜角度，测量精度达 $\pm 0.1^{\circ}$ ：倾斜角度在规定范围内，常规显示不提示，倾斜角度达到警告值，发出倾覆提示。



2.4.4 景深识别功能

在进行远程作业时，为保障操作手对三维空间的感知准确性，需要利用 AI（人工智能）识别技术以及 AR（增强现实）技术，实时监测电铲挖斗空间位置，并将其垂直落点模拟显示在屏幕画面中，实现精准确定目标位置，增强作业面空间感，让司机在操作过程中能够更方便、更直观地进行施工作业，提升工作效率。该功能需能够高效解决以下三大痛点：

挖掘：精准确定目标位置

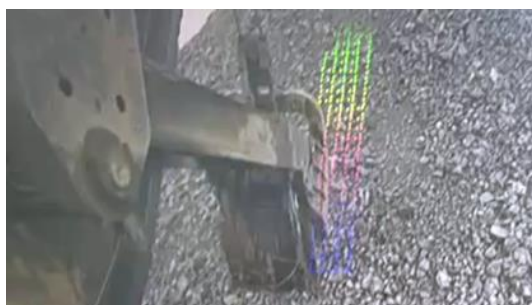
卸料：精准确定落料位置

辅助判断：精准判断作业面平整度

根据景深落点的颜色分布，以及投影的跳跃方式，判断作业面是否起伏详情。



景深落点-地面 AR 投影 示意图



景深落点-边坡 AR 投影 示意图

2.4.5 自动复位装车功能

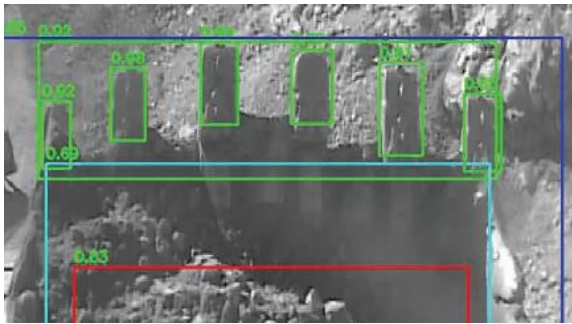
在挖装作业中，电铲的装车速度直接影响了整个作业流程的工作效率。远程遥控过程中，三维信息的缺失、视频信号的微小波动，都会直接降低装车的工作效率。需要通过机械臂自动控制技术，对电铲作业臂进行运动路径自动化控制，实现自动复位装车功能。

具体使用方式为，操作司机可以通过手柄上的“记录当前位置”按键，记录下当前铲斗，大臂和转台的传感器角度值，运动到任意其他位置后，可以使用“复位”键。这时会通过传感器数据的变化自动计算出一条轨迹回到记录位置。

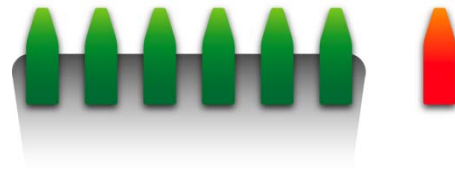
为了防止自动复位时意外的发生，系统需要在操作手执行抬起大臂操作会终止自动复位；为了方便操作手自动复位和卸料的流畅性，铲斗向外翻的操作也会终止自动复位；如果检测到电铲履带移动，轨迹规划会受到影响，这时会清除已记录的位置信息。

2.4.6 斗齿识别功能

为防止铲斗斗齿掉落对后续作业工序的影响，需要采用多传感器融合技术、AI（人工智能）识别技术，让智控中心实时监测斗齿磨损、掉落等现场，并在第一时间提醒远程操作手。斗齿识别功能需一直在后台运行，正常情况下无干扰；一旦斗齿健康状态异常，会在屏幕上显示出斗齿损坏的信息和缺失的个数。远程操作手可自行检查、与现场施工人员沟通，有效降低异常停机率，减少对后续工序设备的损坏。



后台监测画面

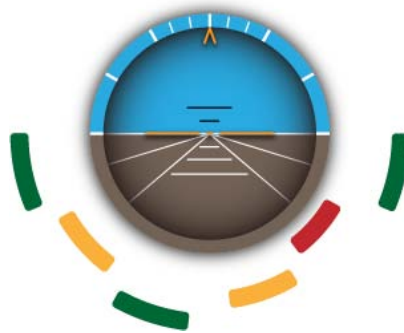


操作台显示画面

2.4.7 防碰撞预警功能

设备精细作业时，如严格要求设备左右侧、尾部不能碰撞周边物品，就对操作手精细作业能力提出了较高的要求。需通过多传感器融合技术，实现了设备防碰撞预警功能。

车辆周围防碰撞：根据设备的尺寸，配置对应性能的雷达，使设备在回转或移动的过程中，实现每台雷达实时监测水平 120° ，0.2m 到 8m 范围内物体的距离。在交互界面上通过不同方位色块的高亮和颜色表示盲区内障碍物的远近和方位，甚至显示距离的数值。在距离达到可调的阈值范围内时，交互界面上可以在图像警告的基础上触发声音警告。



2.4.8 屏幕拼接功能

电铲设备体积大，操作手作业时对上下、左右的视域要求广。需要采用宽视域广角摄像头去畸变拼接技术，实现远程作业主视角的视频拼接。

功能要求如下：

宽视域广角摄像头，确保视域宽度，可达 120° ；

视频拼接画面，确保视域高度，可达 140° ；

图像拼接完整，畸变校正，画面准确、清晰；

加入曝光自动调整，适应不同光线条件的工况（如白天光线过曝等），确保操作人员可进行高效的施工作业。

3 结论

3.1 提升矿山企业安全生产水平

智慧矿山的显著标志是无人，就是开采面无人作业、掘进面无人作业、危险场所无人作业、大型设备无人作业，直到整座矿山无人作业，整个矿山的各项作业都在智慧机器人和智慧设备下操作完成。矿山智慧化建设，是一个由点到面，技术改造升级，逐步完善叠加的过程。因此，本系统作为智慧矿山建设的一环，将加快智慧矿山建设，使矿山生产告别苦脏累险，带来巨大的安全效益，使矿产企业安全生产接近或达到本质安全。

3.2 解决矿山行业用工荒问题

近年来，我国出现了“用工荒”问题，特别是矿业企业，由于其所处的事故多发行业，这一问题更为突

出，随着人口老龄化的加剧，以及劳动力结构的结构性失衡，这一问题也将愈演愈烈，要解决这一问题，需要采取长期对策。自改革开放以来，单靠廉价劳动力成本从事低端加工制造，已经很难维持企业发展，甚至影响整个中国经济的长远发展。本项目有助于实现矿山工业转型升级，走出传统矿山工业低水平发展的道路，是解决“用工荒”问题的必然选择。

3.3 加速升级矿山产业转型升级

我国经济进入新常态，矿山工业正处在需求增长放缓、产能过剩和库存消化、环境约束强化、结构调整攻坚“四期并存”的发展阶段，矿山工业要抓住机遇变革的契机进行转型升级。由工业互联网、区块链、新基础设施等所代表的新一代信息技术与传统矿山相融合创新，将对矿山行业全面提升产业层次，形成产业竞争新优势，提高经营质量起到积极的推动作用。本项目的建设，将为矿山行业转换发展动能，实现高质量、高效益的发展贡献力量。

3.4 促进区域经济释放新活力

采用远程智能操控系统，通过数字化升级，促进矿山企业生产由“规模产量”向“质量效益”转变，由“劳动密集”向“技术创新”转变，由“传统开采”向“智能开采”转变，走出一条质量更高、效益更好、结构更优、优势充分释放的发展新路，推动矿山行业向形态更高级、分工更优化、结构更合理阶段演进，使区域经济发展不断释放出新生机、新活力。

参考文献

- [1] 张志勇, 陈闯, 张立伟,等. 论电铲从传统模式到智能远程操控的深远影响[J]. 现代工业经济和信息化, 2022(003):012.
- [2] 高辉. 5G 网络技术研究现状和发展趋势[J]. 通讯世界, 2017(15):2.
- [3] P.S.萨尔卡, J.A.利马泰宁, J.A.J.普基拉,等. 智能矿山实施——梦想成真[J]. 矿业工程, 2001, 26(2):38-42.